

**Microlithography projection objective and projection exposure apparatus**

Patent Number: ☐ US6353470  
Publication date: 2002-03-05  
Inventor(s): DINGER UDO (DE)  
Applicant(s):  
Requested Patent: ☐ JP2000235144  
Application Number: US20000503640 20000214  
Priority Number(s): DE19991006001 19990215; DE19991048240 19991007  
IPC Classification: G03B27/72; G03B27/54; G02B5/10  
EC Classification: G02B17/06C, G03F7/20T16  
Equivalents: ☐ DE19948240, ☐ EP1035445, A3, TW464768

**Abstract**

The invention concerns a microlithography projection objective device for short wavelengths, preferably <100 nm with a first (S1), a second mirror (S2), a third (S3), a fourth mirror (S4), a fifth (S5) and a sixth mirror (S6). The invention is characterized by the fact that the image-side numerical aperture is  $NA \geq 0.15$  and that the mirror nearest to the object to be illuminated, preferably nearest to the wafer, is arranged in such a way that the image-side optical free working distance corresponds at least to the used diameter D of this mirror nearest to the wafer and/or the image-side optical free working distance is at least the sum of a third of the used diameter D of this mirror and a length which lies between 20 mm and 30 mm, and/or the image-side optical free working distance is at least 50 mm, preferably 60 mm

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-235144  
(P2000-235144A)

(43) 公開日 平成12年8月29日 (2000.8.29)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 2 B 11/00		G 0 2 B 11/00	
13/24		13/24	
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 5 D
			5 1 5 B
審査請求 未請求 請求項の数32 O L (全 16 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-33981(P2000-33981)  
(22) 出願日 平成12年2月10日 (2000.2.10)  
(31) 優先権主張番号 1 9 9 0 6 0 0 1. 0  
(32) 優先日 平成11年2月15日 (1999.2.15)  
(33) 優先権主張国 ドイツ (D E)  
(31) 優先権主張番号 1 9 9 4 8 2 4 0. 3  
(32) 優先日 平成11年10月7日 (1999.10.7)  
(33) 優先権主張国 ドイツ (D E)

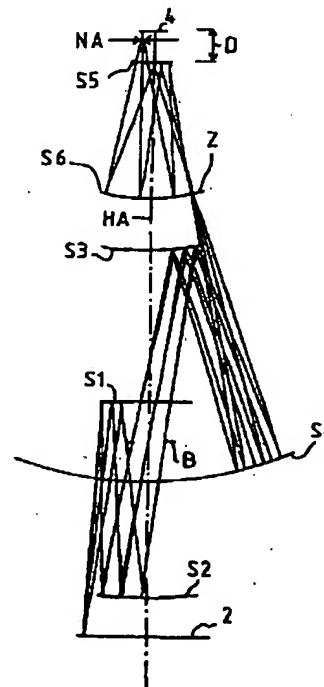
(71) 出願人 300012273  
カール ツァイス シュティフトゥング  
トレーディング アズ カール ツァイス  
ドイツ・(ブレンツ) ハイデンハイム・  
89518  
(72) 発明者 ウド・ディンゲル  
ドイツ・73447・オベルコシェン・ハイン  
ツークュッペンペンダーシュトラッセ・  
4  
(74) 代理人 100089037  
弁理士 渡邊 隆 (外7名)

(54) 【発明の名称】 マイクロリソグラフィー縮小用対物レンズおよび投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 短波長でのリソグラフィーに適した投影用対物レンズの提供。

【解決手段】 好ましくは100nm以下といったような短波長マイクロリソグラフィーにおいて使用するための投影用対物レンズであって、イメージ側での開口数 (NA) が $NA \geq 0.15$ であるようにして配置された6個のミラー、つまり、第1ミラーS1～第6ミラーS6を具備してなり、ウェーハ面4に対して最も近い位置に配置された第5ミラーS5が、ウェーハ面に対して所定距離だけ離間して配置されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 好ましくは100nm以下といったような短波長マイクロソグラフィにおいて使用するための投影用対物レンズであって、

イメージ側での開口数(NA)が $NA \geq 0.15$ であるようにして配置された6個のミラー、つまり、第1ミラー(S1)と、第2ミラー(S2)と、第3ミラー(S3)と、第4ミラー(S4)と、好ましくはウェーハに対して最も近い位置に配置された第5ミラー(S5)と、第6ミラー(S6)と、を具備してなり、前記第5ミラーが、

イメージ側における光学的にフリーな動作距離が、前記第5ミラーの直径D以上であるという条件と、

イメージ側における光学的にフリーな動作距離が、前記第5ミラーの直径Dの3分の1と、20mm～30mmの範囲の長さ、との和以上であるという条件と、

イメージ側における光学的にフリーな動作距離が、50mm以上、好ましくは60mmであるという条件と、のうちの少なくとも1つの条件を満たすようにして配置されていることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項2】 好ましくは100nm以下といったような短波長マイクロソグラフィにおいて使用するための投影用対物レンズであって、

イメージ側での開口数(NA)が $NA \geq 0.15$ であるようにして配置された6個のミラー、つまり、第1ミラー(S1)と、第2ミラー(S2)と、第3ミラー(S3)と、第4ミラー(S4)と、第5ミラー(S5)と、第6ミラー(S6)と、を具備してなり、

好ましくはウェーハとされる被照光対象物における円弧形状視野幅(W)が、 $1.0\text{mm} \leq W$ という範囲であり、

前記6個のミラーの各々に関して、非球面形状のピーク対谷(PV)で測ったときの、最適適合球面からの最大ズレ量(A)が、 $A \leq 19\mu\text{m} - 102\mu\text{m} \times (0.25 - NA) - 0.7\mu\text{m}/\text{mm} (2\text{mm} - W)$ という範囲であることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項3】 好ましくは100nm以下といったような短波長マイクロソグラフィにおいて使用するための投影用対物レンズであって、

イメージ側での開口数(NA)が $NA \geq 0.15$ であるようにして配置された6個のミラー、つまり、第1ミラー(S1)と、第2ミラー(S2)と、第3ミラー(S3)と、第4ミラー(S4)と、第5ミラー(S5)と、第6ミラー(S6)と、を具備してなり、

イメージ側における円弧形状視野幅(W)が、 $1.0\text{mm} \leq W$ という範囲であり、

前記6個のミラーの各々に対しての光入射に関して、面に対する直交方向から測ったときの入射角度(AOI)が、 $AOI \leq 23^\circ - 35^\circ \times (0.25 - NA) - 0.2^\circ/\text{mm} (2\text{mm} - W)$ という範囲であることを

特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項4】 短波長マイクロソグラフィにおいて使用するための投影用対物レンズであって、

$\beta > 0$ とされて、対象物の仮想イメージを生成するための視野ミラー(S1)と、第2ミラー(S2)と第3ミラー(S3)と第4ミラー(S4)とから構成され、 $\beta < 0$ とされて、前記仮想イメージを、実在中間イメージへとイメージ化するための第1サブシステムと、第5ミラー(S5)と第6ミラー(S6)とから構成され、前記中間イメージを、実在のシステムイメージとしてイメージ面上にイメージ化するための第2サブシステムと、を具備していることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項5】 請求項2～4のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

被照光対象物に対して最も近くに配置されるミラー好ましくはウェーハに対して最も近くに配置されるミラーが、

イメージ側における光学的にフリーな動作距離が、前記最も近くに配置されるミラーの直径以上であるという条件と、

イメージ側における光学的にフリーな動作距離が、前記最も近くに配置されるミラーの直径の3分の1と、20mm～30mmの範囲の長さ、との和以上であるという条件と、

イメージ側における光学的にフリーな動作距離が、50mm以上、好ましくは60mmであるという条件と、のうちの少なくとも1つの条件を満たすようにして配置されていることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項6】 請求項3～5のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

イメージ側での開口数(NA)が $NA \geq 0.15$ であり、

ウェーハにおける円弧形状視野幅(W)が、 $1.0\text{mm} \leq W$ であり、

前記各ミラーに関して、非球面形状のピーク対谷(PV)で測ったときの、最適適合球面からの最大ズレ量(A)が、 $A \leq 19\mu\text{m} - 102\mu\text{m} \times (0.25 - NA) - 0.7\mu\text{m}/\text{mm} (2\text{mm} - W)$ という範囲であることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項7】 請求項1～6のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

前記複数のミラーが、障害物のない光学経路を形成し得るようにして配置されていることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項8】 請求項1～7のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

前記ミラーが、基準軸に対しての回転対称性を有していることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項9】 請求項1～8のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

前記第4ミラー(S4)の後に、中間イメージが形成されることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項10】 請求項9記載の投影用対物レンズにおいて、

さらに、前記第2ミラー(S2)と前記第3ミラー(S3)との間において光学経路内に配置された、開口制限手段(B)を具備していることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項11】 請求項10記載の投影用対物レンズにおいて、

前記第1ミラー、前記第2ミラー、前記第3ミラーの間の間隔は、前記開口制限手段が自由にアクセス可能であるように、選択されていることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項12】 請求項11記載の投影用対物レンズにおいて、

前記第1ミラーから前記第3ミラーまでの間の距離(S1S3)と、前記第1ミラーから前記第2ミラーまでの間の距離(S1S2)と、の比が、 $0.5 < S1S3 / S1S2 < 2$  の範囲とされていることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項13】 請求項1～12のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

前記開口制限手段が、前記第2ミラー(S2)と前記第3ミラー(S3)との間において、前記第1ミラー(S1)上に配置されていることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項14】 請求項1～13のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

イメージ側での開口数(NA)が $NA \geq 0.15$ であり、

ウェーハにおける円弧形状視野幅(W)が、 $1.0 \text{ mm} \leq W$ であり、

前記各ミラーに関して、非球面形状のピーク対谷(PV)で測ったときの、最適適合球面からの最大ズレ量(A)が、 $A \leq 12 \mu\text{m} - 64 \mu\text{m} \times (0.25 - NA) - 0.3 \mu\text{m} / \text{mm} (2 \text{ mm} - W)$  という範囲であることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項15】 請求項1～8のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

前記開口制限手段(B)が、前記第2ミラー(S2)上にまたは前記第2ミラー(S2)の近傍に配置されていることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項16】 請求項15記載の投影用対物レンズにおいて、

前記第1ミラーおよび前記第3ミラー間の距離(S1S3)と、前記第1ミラーおよび前記第2ミラー間の距離(S1S2)と、の比が、 $0.3 < S1S3 / (S1S2) < 2$  の範囲であり、

前記第2ミラーおよび前記第3ミラー間の距離(S2S

3)と、前記第3ミラーおよび前記第4ミラー間の距離(S3S4)と、の比が、 $0.7 < S2S3 / (S3S4) < 1.4$  の範囲とされていることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項17】 請求項1～16のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

すべての前記ミラーが、非球面形状とされていることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項18】 請求項1～16のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

最大でも5個のミラーが、非球面形状とされていることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項19】 請求項1～18のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

前記第2ミラー、前記第3ミラー、前記第4ミラー、前記第5ミラー、前記第6ミラーが、順に、凹面-凸面-凹面-凸面-凹面とされていることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項20】 請求項1～19のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

前記第1ミラー(S1)のイメージ化比( $\beta$ )が正であって、好ましくは、 $0.5 < \beta < 1.5$ であることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項21】 請求項1～19のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

前記第2ミラー(S2)と前記第3ミラー(S3)と前記第4ミラー(S4)とによって構成されたサブシステムのイメージ化比( $\beta$ )が負であって、好ましくは、 $-0.5 > \beta > -1.5$ であることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項22】 請求項1～21のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

前記対物レンズの波面誤差のrms値(2乗平均平方根)が、イメージ視野全体にわたって、最大でも0.07 $\lambda$ であり、好ましくは、0.03 $\lambda$ であることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項23】 請求項22記載の投影用対物レンズにおいて、

イメージ視野の幅が、少なくとも1.0mmであることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項24】 請求項1～23のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

前記対物レンズが、イメージ側においてテレセントリック系であることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項25】 請求項24記載の投影用対物レンズにおいて、

前記対物レンズが、対象物側においてテレセントリック系であることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項26】 請求項1～24のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、

対象物における主要光線が、光学軸を向いていることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項27】 請求項9～26のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、  
最小の焦点距離を有したミラーが、前記中間イメージの後に配置されていることを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項28】 請求項1～27のいずれかに記載の投影用対物レンズにおいて、  
前記第3ミラーおよび前記第6ミラー間の距離(S3S6)が、 $0.3 \times (S3の直径 + S6の直径) < S3S6$  という関係を満たすことを特徴とする投影用対物レンズ。

【請求項29】 マイクロリソグラフィ投影露光装置であって、  
請求項1～28のいずれかに記載された投影用対物レンズと、反射マスクと、を具備していることを特徴とするマイクロリソグラフィ投影露光装置。

【請求項30】 マイクロリソグラフィ投影露光装置であって、  
請求項1～28のいずれかに記載された投影用対物レンズと、透過マスクと、を具備していることを特徴とするマイクロリソグラフィ投影露光装置。

【請求項31】 請求項29または30記載のマイクロリソグラフィ投影露光装置であって、  
さらに、前記円弧形状視野を照光するための照光システムを具備していることを特徴とするマイクロリソグラフィ投影露光装置。

【請求項32】 集積回路の製造方法であって、  
請求項29～31のいずれかに記載された投影露光装置を使用することを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マイクロリソグラフィ用対物レンズ、および、この対物レンズを備えた投影露光装置、ならびに、これを利用した集積回路の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】130nm以下の解像度の構造をイメージ化するために、193nm以下の波長で動作するリソグラフィ光学系を使用することが、既に提案されている。実際、このようなリソグラフィ光学系においては、 $\lambda = 11\text{nm}$ や $\lambda = 13\text{nm}$ という波長範囲の極紫外光(EUV)でもって、100nm以下の構造を形成することが示唆されている。リソグラフィ光学系の解像度は、 $k_1$ をリソグラフィプロセスの特定パラメータ、 $\lambda$ を入射光の波長、NAを光学系のイメージ側における開口数とすれば、 $RES = k_1 \lambda / NA$ で表される。例えば、開口数が0.2の場合には、13nmによる50nm構造のイメージは、 $k_1 = 0.77$ という比

較的単純なプロセスを要求する。 $k_1 = 0.64$ であれば、11nmの放射によって35nm構造のイメージを得ることができる。

【0003】EUV領域におけるイメージ化光学系においては、多層コーティングを有した実質的な反射系が、光学部材として利用可能である。好ましくは、Mo/B eからなる多層が、 $\lambda = 11\text{nm}$ で動作する光学系に対しての多層コーティング系として使用され、一方、 $\lambda = 13\text{nm}$ においては、Mo/Siからなる多層系が使用される。多層コーティングの反射率が約70%の場合には、例えばEUV投影用対物レンズを使用したマイクロリソグラフィといったような応用においては、十分な光学強度を確保するために、できる限り少数の光学素子しか使用しないことが望ましい。詳細には、大きな光強度を得るためには、また、イメージ化エラーの補正を可能とするためには、6個のミラーを備え開口数(NA)が0.20とされた光学系が、使用される。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】マイクロリソグラフィのための、6個のミラーを備えた光学系は、米国特許明細書第5,686,728号、欧州特許明細書第779,528号、および、米国特許明細書第5,815,310号によって公知となっている。上記米国特許明細書第5,686,728号における投影リソグラフィ光学系は、6個のミラーを備えた投影用対物レンズを具備している。この場合、反射性ミラー表面の各々は、非球面の形態とされている。これらミラーは、障害物のない光学経路が得られるような状況で、共通の光学軸に沿って配置されている。この米国特許明細書第5,686,728号によって公知の投影用対物レンズが、100～300nmの波長のUV光に対してのみ使用されるものであることにより、この投影用対物レンズのミラーは、約 $\pm 50\mu\text{m}$ という非常に大きな非球面性を有しており、約 $38^\circ$ という非常に大きな入射角度を有している。NA=0.2へと開口数を減少したにしても、ピークからピークで測ったときに $25\mu\text{m}$ という非球面性が残り、入射角度の減少量は少ない。このような非球面性および入射角度は、現存技術におけるEUV領域においては、使用できるものではない。というのは、EUV領域の技術においては、ミラーの表面品質および反射率として、さらに高度なものが要望されるからである。

【0005】上記米国特許明細書第5,686,728号における対物レンズに関し、EUVマイクロリソグラフィにとって望ましい例えば11nmや13nmといったような100nm以下の波長での使用に対しての障害となっている他の欠点は、ウェーハとウェーハに最も近いミラーとの間の距離が短いことである。このようにこの距離が短いことのために、その米国特許明細書第5,686,728号における装置において使用されているような極薄のミラーしか使用することができない。

興味の対象をなす11nmや13nmの波長に対して適切であるような多層系のコーティングに対しては、かなりの応力がかかることにより、そのような薄いミラーは、非常に不安定である。

【0006】13 $\mu$ mや11 $\mu$ mといった波長にさえおけるEUVリソグラフィー用の、6個のミラー付きの投影用対物レンズは、先の欧州特許明細書第779,528号によって公知となっている。この投影用対物レンズは、また、6個のミラーのうちの少なくとも2つのミラーが、26 $\mu$ mおよび18.5 $\mu$ mという非常に大きな非球面性を有しているという欠点をかかえている。うまくないことに、この欧州特許明細書第779,528号における構成においては、ウェーハに最も近いミラーとウェーハとの間の光学的動作距離が非常に短く、そのため、不安定性が発生したり、負の機械的動作距離ができたりする。

【0007】よって、上記従来技術における欠点を有していないような、短波長でのリソグラフィーのための、好ましくは100nm以下の波長でのリソグラフィーのための、投影用対物レンズが要望されている。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明のある見地によれば、6個のミラーを備えた投影用対物レンズであって、被照光ウェーハの最も近くに配置されるミラーが、イメージ側での開口数(NA)が $NA \geq 0.15$ であるようにして配置されることによって、従来技術の欠点が克服される。また、ウェーハの最も近くに配置されるミラーは、イメージ側における光学的にフリーな動作距離が、ウェーハの近くに配置されるミラーの直径以上であるか；あるいは、イメージ側における光学的にフリーな動作距離が、ウェーハの近くに配置されるミラーの直径の3分の1と、20mm～30mmの範囲の長さとの和以上であるか；あるいは、イメージ側における光学的にフリーな動作距離が、50mm以上であるか；のいずれかの状況で配置される。好ましい実施形態においては、イメージ側における光学的動作距離は、60mmとされる。

【0009】本発明の他の見地によれば、6個のミラーを備えた投影用対物レンズは、イメージ側での開口数NAが $NA \geq 0.15$ であり、ウェーハにおける円弧形状視野幅Wが、 $1.0\text{mm} \leq W$ という範囲であり、6個のミラーのすべてに関して、非球面形状のピーク対谷で測ったときの、最適適合球面からの最大ズレ量Aが、 $A \leq 19\mu\text{m} - 102\mu\text{m} \times (0.25 - NA) - 0.7\mu\text{m}/\text{mm} (2\text{mm} - W)$ という範囲に制限されていることによって特徴づけられる。好ましい実施形態においては、すべてのミラーに関し、非球面形状のピーク対谷で測ったときの、最適適合球面からの最大ズレ量Aは、 $A \leq 12\mu\text{m} - 64\mu\text{m} \times (0.25 - NA) - 0.3\mu\text{m}/\text{mm} (2\text{mm} - W)$ という範囲によって制限され

る。

【0010】本発明のさらに他の見地においては、6個のミラーを備えた投影用対物レンズは、イメージ側での開口数NAが $NA \geq 0.15$ であり、ウェーハにおける円弧形状視野幅Wが、 $1.0\text{mm} \leq W$ という範囲であり、すべてのミラーにおける光入射に関して、面に対する直交方向から測ったときの入射角度AOIが、 $AOI \leq 23^\circ - 35^\circ \times (0.25 - NA) - 0.2^\circ/\text{mm} (2\text{mm} - W)$ という範囲によって制限されることによって特徴づけられる。

【0011】好ましくは、本発明の実施形態は、上記3つの見地のすべてを含む。例えば、そのような実施形態においては、光学的動作距離が、 $NA = 0.20$ において50mm以上であり、かつ、ピーク対谷での非球面偏差が上記範囲内であり、かつ、入射角度が上記範囲内である。

【0012】非球面性という用語は、使用範囲において最適適合をなす球面に対しての、非球面形状表面の、ピーク対谷での偏差Aのことを意味している。非球面状表面は、この例においては、ミラーの頂点に中心を有しているとともに中間部における有効領域の上端および下端において非球面と交差する球面を使用することによって近似される。入射角度とは、常に、入射ビームと、表面に対しての入射点から立ち上げた垂直線と、の間の角度を意味している。ミラーに関しての入射光最大入射角度が、常に与えられる。すなわち、入射束制限ビームの角度が与えられる。使用直径とは、通常円形ではないような使用領域に対しての包絡円の直径として定義される。

【0013】好ましくは、ウェーハ側における光学的動作距離は、60mmとされる。

【0014】対物レンズは、EUVにおいてだけでなく、本発明の範囲を逸脱することなく、他の波長においても使用することができる。しかしながら、いずれの場合においても、イメージ品質の劣化を避けるためには、とりわけ中央陰影(central shading)による劣化を避けるためには、投影用対物レンズのミラーは、障害物のない光学経路を形成し得るようにして配置されるべきである。さらに、光学系の取付を容易なものとするために、また、光学系の調整を容易なものとするために、ミラー面は、主軸に対しての回転対称性を有した面をなすように構成されるべきである。さらに、アクセス可能な開口を有したコンパクトな構成とするために、また、障害物のない経路を確立するために、投影用対物レンズデバイスは、好ましくは第4ミラーの後に形成されるような、中間イメージを形成し得よう構成されている。このような光学系においては、開口制限手段を、前方側における開口の小さな部分に設けることができ、開口制限手段に対して関連した光束面は、最後のミラーの焦点面内にイメージ化される。このような光学系は、イメージ空間内において、テレセントリック系ビームを確保す

る。

【0015】本発明のある実施形態においては、第2ミラーと第3ミラーとの間に、自由にアクセス可能な開口制限手段が、光学的にかつ物理的に配置される。開口制限手段に対しての良好なアクセス可能性は、第1ミラーから第3ミラーまでの間の距離( $S1S3$ )と、第1ミラーから第2ミラーまでの間の距離( $S1S2$ )と、の比が、 $0.5 < S1S3/S1S2 < 2$  の範囲とされている場合に、確保される。また、第2ミラーと第3ミラーとの間に配置された開口制限手段によって、第3ミラーから第4ミラーへと進む光のぼやけを防止するために、第2ミラーから開口制限手段までの間の距離( $S2開口$ )と、第3ミラーから開口までの間の距離( $S3開口$ )と、の比が、 $0.5 < S2開口/(S3開口) < 2$  の範囲とされる。このように配置された光学系を使用することにより、投影用対物レンズの前段部分における角度負荷を、軽減することができる。

【0016】第2ミラー- $S2$ と第1ミラー- $S1$ との間に物理的に位置した開口制限手段は、 $S1$ から $S2$ へと進む光の拘束(クリッピング)を避けるためには、少なくとも部分的には、狭いリングとして形成しなければならない。このような構成においては、望ましくない直接光がまたは $S1$ 上および $S2$ 上における反射光が、開口リングの外側を通過してウェーハへと到達するという危険性がある。しかしながら、開口制限手段が、第2ミラーと第3ミラーとの間に光学的に配置されており、かつ、第1ミラーに物理的に近接して配置されている場合(機械的に容易に実現することができる)には、この望ましくない光を有効にマスク(遮蔽)することができる。開口制限手段は、第1ミラー内における開口として形成することもできるし、第1ミラーの背後に形成することもできる。

【0017】本発明の他の実施形態においては、開口制限手段は、第2ミラー上にまたは第2ミラーの近傍に配置される。ミラー上に開口を配置することは、機械的な形成が容易であるという利点がある。ここで、小さな入射角度での障害物のないビーム経路を確保するためには、第1ミラーおよび第3ミラー間の距離( $S1S3$ )と、第1ミラーおよび第2ミラー間の距離( $S1S2$ )と、の比が、 $0.3 \leq S1S3/S1S2 \leq 2$  の範囲であり、かつ、第2ミラーおよび第3ミラー間の距離( $S2S3$ )と、第3ミラーおよび第4ミラー間の距離( $S3S4$ )と、の比が、 $0.7 \leq S2S3/(S3S4) \leq 1.4$  の範囲とされる。

【0018】6個ミラー光学系におけるイメージ化誤差を補正し得よう、好ましい実施形態においては、6個すべてのミラーが、非球面形状とされている。しかしながら、代替可能な実施形態においては、最大でも5個のミラーが非球面形状とされており、この場合には、製造プロセスを簡略化することができる。その場合、1つの

ミラーを、好ましくは最大のミラーすなわち第4ミラーを、球面ミラーの形態とすることができる。さらに、第2ミラーから第6ミラーが、順に、凹面-凸面-凹面-凸面-凹面とされていることが好ましい。

【0019】少なくとも50nmの解像度を得るためには、光学系の波面のrms値(2乗平均平方根)は、最大でも $0.07\lambda$ であり、好ましくは、 $0.03\lambda$ である。

【0020】有利には、本発明の実施形態においては、対物レンズは、イメージ側において常にテレセントリック系である。反射マスクとともに動作する投影システムにおいては、対象物側におけるテレセントリックビーム経路は、伝達を大いに低減させるようなビームスプリッタを通しての照明なしでは、不可能である。そのようなデバイスのうちの1つは、特開平7-283116号により公知である。したがって、レチクル上における主要ビーム角度は、ぼやけのない照明が可能であるように、選択されている。これに代えて、透過マスクを備えたシステムにおいては、対物レンズは、対象物側においてテレセントリック系とすることができる。これら実施形態においては、第1ミラーは、好ましくは、凹面ミラーである。全体的に、ウェーハ上におけるテレセントリック誤差は、 $10\text{mrad}$ を超えるべきではなく、典型的には、 $2\text{mrad} \sim 5\text{mrad}$ であり、 $2\text{mrad}$ が好ましい。このことは、イメージ化比の変化が焦点深さ全体にわたって許容範囲内にあることを保証する。

【0021】本発明のすべての実施形態においては、6個ミラー対物レンズは、付加的に、視野ミラー、あるいは、3個のミラーからなる縮小用サブシステム、あるいは、2個のミラーからなるサブシステムを備えることができる。

【0022】投影用対物レンズに加えて、本発明においては、少なくとも1つの投影用対物レンズデバイスを具備した投影露光装置が利用可能である。ある実施形態においては、投影露光装置は、反射マスクを具備しており、他の実施形態においては、透過マスクを具備している。好ましくは、投影露光装置は、偏心軸を有した円弧形状視野スキャナーを照明するための照明デバイスを具備している。さらに、走査スリットのセカント(正接)長さは、少なくとも $26\text{mm}$ とすることができ、リング幅は、 $0.5\text{mm}$ より大きなものとすることができる。これにより、この装置における一様な照明が可能となる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照しつつ、本発明の実施形態について説明する。

【0024】図1は、中間イメージと、第2ミラーと第3ミラーとの間におけるアクセス自由な開口制限手段と、 $0.2$ という開口数と、を有した、本発明の実施形態を示す図である。図2は、米国特許明細書第5, 68



6, 728号に開示されているような、100nmよりも長い波長のための、6個のミラーを備えた従来の対物レンズ構成を示す図である。図3は、第3ミラーと第4ミラーとの間に配置された第1ミラー上に開口制限手段を有した、本発明の第2実施形態を示す図である。図4は、第2ミラー上に開口制限手段を有するとともに動作距離が59mmであるような、本発明の第3実施形態を示す図である。図5は、中間イメージと、0.28という開口数NAと、ウェーハに最も近いミラーの有効直径の約3分の1と20~30mmの範囲の長さとの合計長さを最小長さとするイメージ側上における光学的動作距離と、を有した、本発明の第4実施形態を示す図である。図6は、中間イメージと、0.30という開口数NAと、を有した、本発明の第5実施形態を示す図である。図7Aおよび図7Bは、それぞれに例示された視野に対して使用される直径を示す図である。

【0025】図1, 3, 4には、本発明による6個のミラーを有した投影用対物レンズの構成が、示されている。各図に示されているように、ウェーハに最も近いミラーの使用直径以上の、フリーな光学的動作距離が設けられている。これに対して、図2には、例えば米国特許明細書第5, 686, 728号に開示されているような、100nmよりも長い波長に対して使用するための、従来構成が示されている。以下のすべての実施形態においては、同一部材に対しては同一符号が使用され、以下の名称が使用される。すなわち、第1ミラー(S1)、第2ミラー(S2)、第3ミラー(S3)、第4ミラー(S4)、第5ミラー(S5)、第6ミラー(S6)、が使用される。

【0026】特に、図1には、レチクル面2からウェーハ面4に至る光束経路を有した、6個ミラー型の投影用対物レンズを示している。この実施形態は、イメージ比 $\beta > 0$ でもって対象物上に仮想イメージを形成するための視野ミラー(フィールドミラー)S1を備えている。S2, S3, S4によって形成される3個ミラー系が設けられていて、この3個ミラー系は、中間イメージZとして、仮想イメージの実在縮小イメージ(縮小された実像)を形成する。最後に、2個ミラー系S5, S6は、テレセントリック系という要求を維持しつつ、中間イメージZを、ウェーハ面4内においてイメージ化する。3個ミラーサブ光学系の収差と、2個ミラーサブ光学系の収差とは、互いに平衡している。そのため、光学系全体は、集積回路の製造という応用に対して十分に高品質の出力を有している。

【0027】物理的開口制限手段Bが、第2ミラーS2と第3ミラーS3との間に、配置されている。図1に明瞭に図示するように、開口制限手段Bは、第2ミラーS2と第3ミラーS3との間における光束経路中においてアクセス可能とされている。さらに、ウェーハに最も近いミラーつまりこの実施形態においては第5番目のミ

ラーS5と、ウェーハ面4と、の間の距離(間隔)は、使用されているミラーS5の直径よりも大きい。言い換えれば、 $[S5からウェーハ面4への光学距離] > [S5の使用直径]$ という条件が満たされている。距離に関しての他の要求を満たすことも可能である。例えば、第5ミラーS5とウェーハ面4との間の距離として、

(1) ウェーハに最も近いミラーS5の使用直径の3分の1の長さ、20mmと、の和よりも大きいような距離、あるいは、(2) 50mmよりも大きいような距離、を使用することができる。好ましい実施形態においては、この距離は、60mmとされる。

【0028】このような比較的大きな距離は、0よりも大きいような十分に大きなフリーな動作距離を保証し、また、好ましくは11~13nmの波長といったような100nm未満の波長に対しての使用に適合した光学部材の使用を可能とする。この範囲における光学部材としては、例えば、Mo/Si多層系やMo/Be多層系がある。ここで、 $\lambda = 13\text{nm}$ に対して典型的な多層系は、Mo/Si層対であり、 $\lambda = 11\text{nm}$ に対しては、Mo/Be系である。いずれの場合においても、約70層対のものが使用される。このような光学系において達成可能な反射率は、約70%である。多層系においては、350MPaを超える層応力が起こり得る。このような応力値は、表面変形を誘起し得るものである。特に、ミラーのエッジ領域において、表面変形を誘起しやすい。

【0029】例えば図1に示されているような、本発明による光学系は、 $RES = k_1 \lambda / NA$  という関係式を満たしている。これは、最小50nmという公称解像度をもたらす。 $k_1$ をリソグラフィプロセスに特有のパラメータとしたときに、開口数NAを最小の0.2とすれば、 $\lambda = 13\text{nm}$ に対して $k_1 = 0.77$ において、また、 $\lambda = 11\text{nm}$ に対して $k_1 = 0.64$ において、最小35nmという公称解像度が得られる。

【0030】また、図1に示す対物レンズの光束経路は、障害のないものである。例えば、 $26 \times 34\text{cm}^2$ あるいは $26 \times 52\text{cm}^2$ というイメージフォーマットを形成するためには、本発明による投影用対物レンズは、好ましくは、走査スリットのセカント(正接)長さが少なくとも26mmであるような、円弧形配置走査投影露光装置において使用される。

【0031】投影露光装置においては、透過マスクやステンシルマスクや反射マスクといったような多数のマスクを使用することができる。イメージ側においてはテレセントリック系であるような光学系は、対物レンズ側においては、使用されるマスクに応じて、テレセントリック系とすることもテレセントリック系としないこともできる。例えば、反射マスクを使用しているときに、対物レンズ側においてテレセントリック系光束経路を形成するためには、透過縮小ビームスプリックを使用しなけ



ればならない。対物レンズ側において非テレセントリック系ビーム経路である場合には、マスクの平坦性からのズレが、イメージに寸法誤差をもたらす。したがって、レチクル面における主要光線角度は、レチクルの平坦性に対する要求を到達可能な範囲とし得るよう、好ましくは $10^\circ$ 以下である。しかも、図1の光学系は、0.2という開口数に対して、ウェーハレベルにおいて、1 mradというイメージ側でのテレセントリック誤差を有している。

【0032】大きなイメージ側でのテレセントリック性のために、最後のミラーS6の入射瞳孔は、このミラーの焦点面にあるいはその近傍に位置している。したがって、中間イメージを有しているこのような光学系においては、開口Bが、主に第1ミラーS1と第3ミラーS3との間における光学経路において前方側における開口制限部分をなし、この開口制限に関連した瞳孔面が、最終ミラーの焦点面内においてイメージ化されることとなる。

【0033】図1におけるすべてのミラーS1～S6は、約 $7.3\mu\text{m}$ という最大非球面性を有した非球面状のものとして構成されている。構成の非球面性が小さいことは、製造面からは有利である。その理由は、多層ミラーの表面処理における困難さが、非球面偏差および非球面性の傾きに比例して増大するからである。

【0034】6個ミラー対物レンズの大きな入射角度は、第5ミラーS5において起こり、約 $18.4^\circ$ である。ミラー全体にわたっての入射角度の最大変化も、また、第5ミラーS5において起こり、約 $14.7^\circ$ である。 $\lambda = 13\text{nm}$ における波面誤差は、 $0.032\lambda$ よりも良好であり、ポイントイメージの重心ズレは、 $3\text{nm}$ 未満であり、静的な寸法補正捻れは、 $4\text{nm}$ である。

【0035】第2ミラーと第3ミラーとの間における開口制限手段は、自由にアクセス可能なものである。開口制限手段を通してS3からS4へと向かう光のぼやけ

は、 $0.5 < S1S3/S1S2 < 2$ 、かつ、 $0.5 < [S2\text{開口}]/[S3\text{開口}] < 2$ という条件が満足されているときには、両ミラー上における両入射角度を同時に許容範囲内のものとするることにより、防止される。ここで、記号S1S3は、両ミラーS1、S3の頂点どうしの間の機械的距離を意味している。また、[S2開口]は、ミラーS2の頂点と開口との間の機械的距離を意味している。さらに、図1、3、4のいずれの実施形態においても、ミラー上への入射角度を減少させるために、レチクルからS1への距離は、S2からS3への距離よりも、小さなものとされている。すなわち、レチクル $S1 < S2S3$ という関係が成立している。好ましくは、レチクルは、最初のミラー（例えば、S2）の前方側において、レチクルと第1ミラーとの間における入射光の方向に沿って、十分遠くに位置している。この場合には、例えば、レチクルとS2との間の間隔は、 $80\text{mm}$ とされている。

【0036】また、図1、3、4、5の実施形態においては、ミラーS3、S6間の間隔は、これらミラーS3、S6として十分な厚さのミラーを使用できるような大きさに選択されている。ミラーの厚さが厚いということは、強度や安定性や、上述のような大きな層内張力に対する耐性が良好であることを意味している。このような光学系においては、 $0.3 \times (S3\text{の使用直径} + S6\text{の使用直径}) < S3S6$ という関係であることが好ましい。

【0037】以下の表1においては、図1に例示した光学系のパラメータが、Code V（登録商標）名称で例示されている。対物レンズは、 $26 \times 2\text{mm}^2$ という円弧形視野を有しかつ開口数が0.2とされた5倍の光学系である。この光学系のイメージ側での平均半径は、約 $26\text{mm}$ である。

【表1】

部材No.	半径	厚さ	直径	タイプ
対物レンズ	INF	80.9127 413.0257	258.1723	
S 1	A(1)	-88.8251 -324.2006 0.0000	197.5712 195.6194 188.6170	REFL
S 2	A(2)	324.2006 開口 423.6214 0.0000	188.7078 67.1796 183.2180	REFL
S 3	A(3)	-423.6214 -74.9270	184.7062 519.0546	REFL
S 4	A(4)	498.5484 109.8242 281.5288	541.0453 248.6244 177.5488	REFL
S 5	A(5)	-281.5288	65.0842	REFL
S 6	A(6)	281.5288	187.9549 78.3999	REFL
イメージ	イメージ幅	59.9202	53.9889	

非球面定数:

$$Z = (\text{曲率})Y^4 / [1 + (1 - (1 + K)(\text{曲率})^2Y^2)^{1/2}] + (A)Y^6 + (B)Y^8 + (C)Y^{10} + (D)Y^{12}$$

非球面	曲率	K	A	B	C	D
A(1)	0.00031800	-27.686599	0.00000E+00	1.32694E-15	2.00546E-20	-8.49471E-25
A(2)	0.00094928	-3.998204	0.00000E+00	4.03894E-15	-6.16047E-20	2.73303E-25
A(3)	0.00126752	0.424198	0.00000E+00	1.58766E-15	-8.27965E-20	2.80328E-24
A(4)	0.00123850	0.023155	0.00000E+00	2.46048E-17	-1.08266E-22	3.75259E-28
A(5)	0.00329892	2.902916	0.00000E+00	1.55628E-12	-6.71619E-17	-5.30379E-21
A(6)	0.00277563	0.072942	0.00000E+00	2.96285E-16	3.99125E-21	4.55007E-26

参照波長 = 13 nm

【0038】図2には、米国特許明細書第5,686,728号による、 $\lambda < 100 \text{ nm}$ という波長でのマイクロソグラフィーのための投影用対物レンズの構成が示されている。図1における部材と実質的に同様の部材については、同一参照符号が付されている。明らかなように、ウェーハに最も近いミラーS5と、ウェーハと、の間の距離(間隔)は、ミラーS5の直径よりもかなり小さく、約20mmの程度である。このことは、EUV領域の光学系に対しては、強度の問題や安定性の問題を引き起こす。その理由は、複数の層内における張力が極めて大きいからである。しかも、この光学系は、 $50 \mu\text{m}$ という非常に大きな非球面性を有しており、最大入射角度が $38^\circ$ にも達する。製造の観点からは、また、コーティング技術の観点からは、これらの非球面性や入射角度は、EUV領域における使用には不適切である。

【0039】図3には、6個ミラー光学系の代替可能な実施形態が示されている。この場合には、開口制限手段Bは、第1ミラー上に配置されている。この場合においても、図1における部材と同様の部材については、同一参照符号が付されている。この第2実施形態においては、図1に示す第1実施形態と同様に、ウェーハに対しての(S5からの)距離は、60mmである。よって、ウェーハに最も近いミラーS5の直径よりも大きなものである。図1の場合と同様に、S2とS3との間の距離

は、先の米国特許明細書第5,686,728号の場合と比較して、かなり増大されている。そのため、この光学系においては、大きな入射角を避けることができる。

【0040】図1の対物レンズに対しての1つの相違点は、図3においては、開口制限手段Bが、第1ミラーS1上に配置されていることである。この配置の結果として、S2上において反射された反射光からのぼやけを減少させることができる。これに対して、物理的開口制限手段がS1とS2との間に配置されている場合には、光は、狭いリングとして構成されている開口制限手段を超えて通過することができる。図3に示す第2実施形態においては、開口は、S1ミラー内における開口とすることも、S1の背面上に位置した開口とすることもできる。

【0041】この第2実施形態の他の利点は、ミラーS4が球面構成とされていることである。このことは、ミラーS4がこの光学系の中で最も大きいミラーであることにより、特に製造面からの有利さが大きい。このような構成であると、使用される非球面性の範囲が、 $10.5 \mu\text{m}$ へと、若干増加する。最大の入射角度は、ミラーS5において起こり、約 $18.6^\circ$ である。構成の波面誤差は、 $1.7 \text{ mm}$ 幅の円弧形視野内においては、 $\lambda = 13 \text{ nm}$ において、 $0.032 \lambda$ である。また、ミラーS4が $0.4 \mu\text{m}$ だけわずかに非球面とされている場合

には、波面誤差は、1.8mm幅の円弧形視野内においては、 $\lambda=13\text{nm}$ において、 $0.031\lambda$ である。不要な光の有効なマス킹は、開口制限手段がミラーS1上に直接的に形成されている場合だけでなく、開口制限手段がミラーS1の背面上に形成されている場合すなわちミラーS2の後方に形成されている場合においても、得られる。好ましくは、開口制限手段は、 $S2S1 \leq 0.9 \times [S2\text{開口}]$  という関係を満たすようにし

て配置される。

【0042】表2は、図3に例示した5倍対物レンズの構成データをCode V (登録商標) 名称で示している。この場合には、第4ミラーS4は、球面である。 $26 \times 1.7\text{mm}^2$  というイメージ視野における平均半径は、約26mmである。

【表2】

部材No.	半径	厚さ	直径	タイプ
対物レンズ	INF	85.2401 358.4668	256.1389	
S 1	A(1)	0.0024 -358.4691 0.0000	203.8941 203.8845 201.9677	REFL
S 2	A(2)	358.4691 開口 390.5466 0.0000	201.9942 60.7572 187.2498	REFL
S 3	A(3)	-390.5456 -104.1273	188.9474 505.8686	REFL
S 4	A(4)	494.6729 114.3062 281.6969	550.3686 256.9217 181.7337	REFL
S 5	A(5)	-281.6969	64.4286	REFL
S 6	A(6)	281.6969	187.8549 78.1545	REFL
イメージ	イメージ幅	60.0041	53.6996	

非球面定数:

$$Z = (\text{曲率})Y^2 / [1 + \{1 - (1 + K)(\text{曲率})^2Y^2\}^{1/2}] + (A)Y^4 + (B)Y^6 + (C)Y^8 + (D)Y^{10}$$

非球面	曲率	K	A	B	C	D
A(1)	0.00035280	-58.238840	0.00000E+00	2.14093E-15	2.29498E-20	0.00000E+00
A(2)	0.00097971	-4.160335	0.00000E+00	1.54696E-15	8.15622E-21	0.00000E+00
A(3)	0.00117863	-2.136423	0.00000E+00	-1.78563E-16	3.45456E-20	0.00000E+00
A(4)	0.00124362	0.000000	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(5)	0.00338832	2.909987	0.00000E+00	7.90123E-13	7.04899E-17	0.00000E+00
A(6)	0.00278660	0.062534	0.00000E+00	2.79526E-16	7.00741E-21	0.00000E+00

参照波長 = 13 nm

【0043】他の実施形態(第3実施形態)が、図4に示されている。この場合においても、先の図面における部材と同様の部材については、同一参照符号が付されている。この場合には、開口制限手段Bは、第2番目のミラーすなわち第2ミラーS2上に、光学的にかつ機械的に配置されている。S2上に開口制限手段を配置することが比較的容易であることが、この第3実施形態の利点である。図4に示す光学系は、4倍の縮小光学系であって、2mm幅の円弧形視野内においては、 $\lambda=13\text{nm}$ において、波面誤差が $0.021\lambda$ である。使用されているものの中での最大の非球面性は、 $11.2\mu\text{m}$ であ

り、最大の入射角度は、S5において起こり、約 $18.3^\circ$ である。イメージ視野における平均半径は、先の第1および第2実施形態と同様に、約26mmである。また、ウェーハと、ウェーハに最も近いミラーS5との間の距離は、ウェーハに最も近いミラーS5の直径よりも大きい。この第3実施形態においては、約59mmである。

【0044】表3は、図4に例示した第3実施形態における光学的パラメータを、Code V (登録商標) 名称で示している。

【表3】

部材No.	半径	厚さ	直径	タイプ
対物レンズ	INF	84.0595 473.5521	205.6642	
S 1	A(1)	-145.8261 -327.7260 開口 0.0000	147.3830 136.4700 112.0176	REFL
S 2	A(2)	473.5521 190.4830 0.0000	112.1228 163.5236 184.4783	REFL
S 3	A(3)	-190.4830 -399.1713	185.3828 358.6720	REFL
S 4	A(4)	589.6560 207.5220 276.2668	654.5228 310.1977 175.3066	REFL
S 5	A(5)	-276.2668	65.2138	REFL
S 6	A(6)	276.2668	182.8159 77.5085	REFL
イメージ	イメージ幅	59.0000	53.9968	

非球面定数:  
$$Z = (\text{曲率}) Y^2 / [1 + \{1 - (1+K) (\text{曲率})^2 Y^2\}^{1/2}] + (A) Y^4 + (B) Y^6 + (C) Y^8 + (D) Y^{10}$$

非球面	曲率	K	A	B	C	D
A(1)	0.00015851	441.008070	0.00000E+00	-3.49916E-16	1.27478E-19	-3.37021E-26
A(2)	0.00089932	-5.032907	0.00000E+00	-6.95852E-15	-7.53236E-20	-2.74751E-24
A(3)	0.00188578	0.913039	0.00000E+00	-1.60100E-15	-9.53850E-20	1.30729E-26
A(4)	0.00108147	0.038602	0.00000E+00	2.48925E-18	-5.29046E-24	-4.37117E-31
A(5)	0.00269068	7.253316	0.00000E+00	-5.70008E-13	-9.32236E-17	-6.09046E-21
A(6)	0.00281036	0.150957	0.00000E+00	1.30822E-15	1.86627E-20	5.08158E-25

参照波長 = 1.3 nm

【0045】図5は、本発明の第4実施形態を示しており、この実施形態においては、視野ミラーS1と、第2～第4ミラーS2～S4からなる第1サブシステムと、第5および第6ミラーS5、S6からなる第2サブシステムと、が設けられている。 $\beta > 0$ とされたイメージ化比 $\beta$ を有した視野ミラーS1は、対象物2の仮想イメージを生成する。この仮想イメージは、その後、 $\beta < 0$ であるような、第2、第3、第4ミラーS2、S3、S4によって構成される第1サブシステムによって、実像をなす中間イメージZへとイメージ化される。実在中間イメージZは、第5および第6ミラーS5、S6から構成された第2サブシステムによって、実像イメージとし

て、ウェーハ面4上にイメージ化される。この光学系の開口数は、 $NA = 0.28$ である。最後のミラーS5とウェーハ面4との間の光学的にフリーな動作距離は、ウェーハに最も近い近ミラーの使用直径の3分の1と、20～30mmという長さ、との和よりも大きなものとされている。開口制限手段は、第2ミラーS2上に位置している。

【0046】表4は、図5に例示した第4実施形態における光学的パラメータを、Code V（登録商標）名称で示している。

【表4】

部材No.	半径	厚さ	直径	タイプ
対物レンズ	INF	151.2625 229.0820	194.7605	
S 1	A(1)	-39.4068 -189.6752 開口 0.0000	162.9862 147.1425 65.0637	REFL
S 2	A(2)	229.0820 137.5708 0.0000	65.1650 168.3504 230.5128	REFL
S 3	A(3)	-137.5708 -300.3445	234.0072 388.2567	REFL
S 4	A(4)	437.9153 133.0981 353.0840	630.7784 343.1578 257.0225	REFL
S 5	A(5)	-353.0840	79.9521	REFL
S 6	A(6)	353.0840	264.2853 78.6376	REFL
イメージ	イメージ幅	44.0000	54.0051	

非球面定数:  
$$Z = (\text{曲率})Y^2 / [1 + \{1 - (1 + K(\text{曲率})Y^2)^{1/2}\} + (A)Y^4 + (B)Y^6 + (C)Y^8 + (D)Y^{10} + (E)Y^{12} + (F)Y^{14} + (G)Y^{16} + (H)Y^{18} + (I)Y^{20}]$$

非球面	曲率	K E	A F	B G	C H	D I	J
A(1)	-0.00080028	0.000000 0.00000E+00	-3.35378E-09 0.00000E+00	5.36841E-14 0.00000E+00	-7.86902E-19 0.00000E+00	-5.07886E-24 0.00000E+00	
A(2)	0.00040002	0.000000 0.00000E+00	1.68187E-07 0.00000E+00	2.05570E-12 0.00000E+00	2.42710E-16 0.00000E+00	5.69764E-20 0.00000E+00	
A(3)	0.00113964	-2.760663 0.00000E+00	0.00000E+00 0.00000E+00	-3.85779E-16 0.00000E+00	1.03881E-19 0.00000E+00	-3.64986E-24 0.00000E+00	
A(4)	0.00128753	0.019273 -6.20381E-33	0.00000E+00 0.00000E+00	5.82746E-18 0.00000E+00	-1.77496E-22 0.00000E+00	1.64954E-27 0.00000E+00	
A(5)	0.00373007	11.6888958 0.00000E+00	0.00000E+00 0.00000E+00	-5.53902E-12 0.00000E+00	-4.32712E-16 0.00000E+00	-1.54425E-19 0.00000E+00	
A(6)	0.00240387	-0.002567 0.00000E+00	0.00000E+00 0.00000E+00	-8.78955E-16 0.00000E+00	-8.39621E-21 0.00000E+00	-2.98854E-25 0.00000E+00	

参照波長 = 13 nm

【0047】図6は、図5と同様であるものの他の代替可能な実施形態（第5実施形態）を示している。この場合、6個のミラーを備えてなる対物レンズ系は、図5の場合と同様に、視野ミラーS1と、第1および第2サブシステムと、を備えている。対物レンズ系は、中間イメージを生成し、図5の場合と同様に第2ミラーS2上に

形成された開口制限手段Bを備えている。開口数NAは、0.30である。この第5実施形態における光学的パラメータを、Code V（登録商標）名称で、表5に示す。

【表5】

部材No.	半径	厚さ	直径	タイプ
対物レンズ	INP	103.2808 229.3042	197.1874	
S 1	A(1)	-39.2890 -180.0162 開口 0.0000	157.6222 142.1492 67.2659	REFL
S 2	A(2)	219.3042 131.2051 0.0000	87.4347 167.6875 228.0182	REFL
S 3	A(3)	-131.2051 -247.6850	232.3162 401.4441	REFL
S 4	A(4)	378.7901 134.4001 348.6086	513.5493 355.7774 268.3735	REFL
S 5	A(5)	-348.6086	81.6266	REFL
S 6	A(6)	348.6086	269.2453 75.4983	REFL
イメージ	イメージ幅	36.1195	53.9942	

非球面定数:  
$$Z = (\text{曲率}) Y^2 / [1 + \{1 - (1 + K) (\text{曲率})^2 Y^2\}^{1/2}] + (A) Y^4 + (B) Y^6 + (C) Y^8 + (D) Y^{10} + (E) Y^{12} + (F) Y^{14} + (G) Y^{16} + (H) Y^{18} + (I) Y^{20}$$

非球面	曲率	K E	A F	B G	C H	D I	E	F	G	H	I
A(1)	-0.00081616	0.000000 -7.07209E-27	-5.19402E-09 0.00000E+00	1.09614E-13 0.00000E+00	-3.44621E-18 0.00000E+00	1.58573E-22 0.00000E+00					
A(2)	0.00066911	0.000000 1.84514E-29	1.69112E-08 0.00000E+00	2.39908E-12 0.00000E+00	2.89763E-16 0.00000E+00	1.00572E-19 0.00000E+00					
A(3)	0.00140031	0.000000 -2.23484E-28	-8.71271E-10 0.00000E+00	-1.47622E-15 0.00000E+00	-3.40869E-20 0.00000E+00	4.32196E-24 0.00000E+00					
A(4)	0.00143731	0.000000 1.49857E-32	2.18165E+12 -8.61043E-38	2.65405E-17 0.00000E+00	-2.01757E-22 0.00000E+00	1.14856E-28 0.00000E+00					
A(5)	0.00378996	0.000000 5.75469E-24	8.54406E-08 0.00000E+00	2.25929E-12 0.00000E+00	3.36372E-16 0.00000E+00	1.92565E-20 0.00000E+00					
A(6)	0.00246680	0.000000 5.91279E-30	-3.61764E-12 0.00000E+00	-8.29704E-16 0.00000E+00	-1.53440E-20 0.00000E+00	-2.24433E-25 0.00000E+00					

参照波長 = 13 nm

【0048】図7Aおよび図7Bは、上記実施形態において使用された直径Dを規定している。一例として、図7Aにおいて、ミラー上に例示された視野100は、矩形の視野である。この場合、使用直径Dは、包絡円（外接円）102の直径である。包絡円102は、矩形100を包囲するものであって、矩形100の各コーナー104が、包絡円102上に位置している。第2の例が、図7Bに示されている。図示された視野100は、インゲン豆の形状とされており、この形状部分が、マイクロリソグラフィ投影照射装置において、本発明による対物レンズを使用したときの有効範囲をなす。包絡円102は、インゲン豆形状を完全に包囲しており、2つのポイント106、108において、インゲン豆形状部分と一致している。この場合、使用直径Dは、包絡円102の直径によって与えられる。

【0049】以上説明したように、本発明は、EUV円弧視野投影システムにおいて使用するための、好ましくは4倍、5倍、または6倍のイメージ化スケールを有した6個ミラー投影用対物レンズを提供する。しかしながら、他の使用形態とすることもできる。6個ミラー投影用対物レンズは、部材の非球面性が比較的小さくかつ入射角度が小さくかつミラー支持体に対しての空間が大

きいことにより、イメージ視野に対して要求されるような解像度を有しているとともに機能的構成を有している。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 中間イメージと、第2ミラーと第3ミラーとの間におけるアクセス自由な開口制限手段と、0.2という開口数と、を有した、本発明の実施形態を示す図である。

【図2】 米国特許明細書第5,686,728号に開示されているような、100nmよりも長い波長のための、6個のミラーを備えた従来の対物レンズ構成を示す図である。

【図3】 第3ミラーと第4ミラーとの間に配置された第1ミラー上に開口制限手段を有した、本発明の第2実施形態を示す図である。

【図4】 第2ミラー上に開口制限手段を有するとともに動作距離が59mmであるような、本発明の第3実施形態を示す図である。

【図5】 中間イメージと、0.28という開口数NAと、ウェーハに最も近いミラーの有効直径の約3分の1と20〜30mmの範囲の長さとの合計長さを最小長さとするイメージ側上における光学的動作距離と、を有し

た、本発明の第4実施形態を示す図である。

【図6】 中間イメージと、0.30という開口数NAと、を有した、本発明の第5実施形態を示す図である。

【図7】 図7Aおよび図7Bは、それぞれに例示された視野に対して使用される直径を示す図である。

【符号の説明】

2 レチクル面

4 ウェーハ面

S1 第1ミラー

S2 第2ミラー

S3 第3ミラー

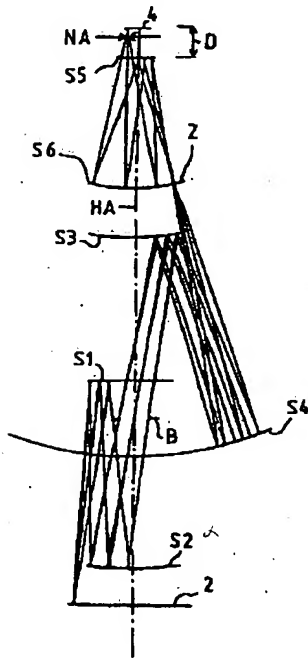
S4 第4ミラー

S5 第5ミラー

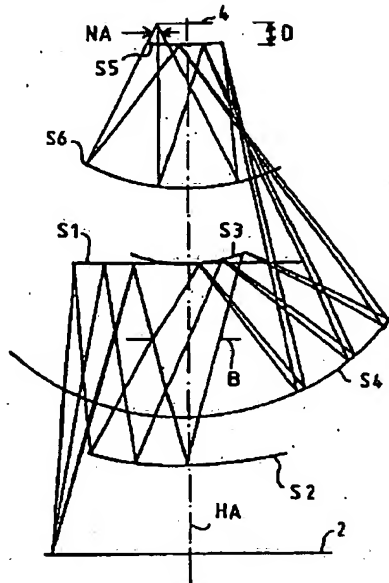
S6 第6ミラー

Z 中間イメージ

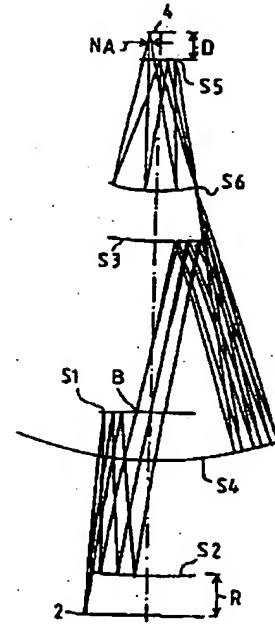
【図1】



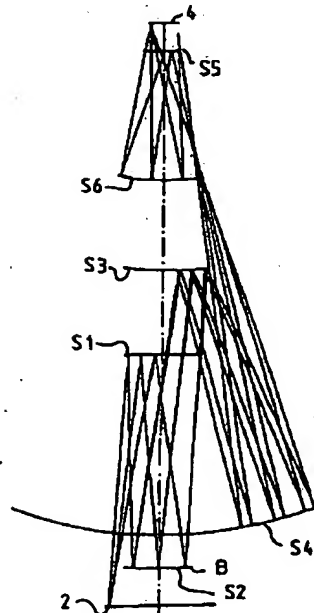
【図2】



【図3】

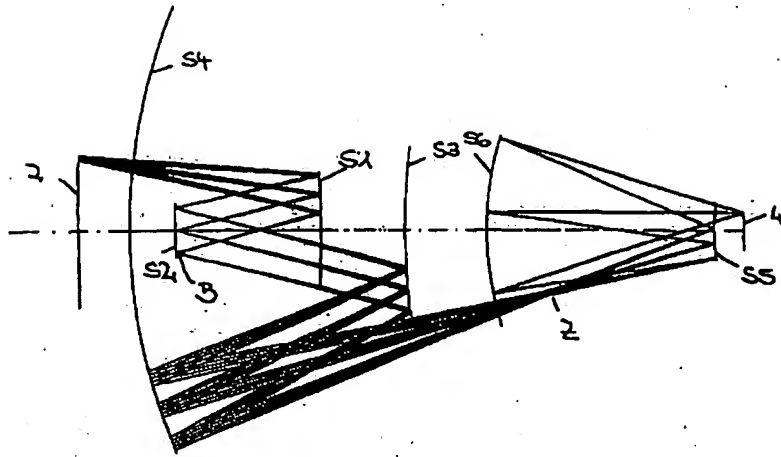


【図4】





【图5】



【图6】

